

**REKABENTUK PENYONGSANG SATU FASA
LIMA ARAS 500 WATT**

oleh

MD. NAZLAN BIN MAMAT

**Tesis yang disertakan untuk memenuhi keperluan bagi
Ijazah Sarjana Sains**

Mac 2011

PENGHARGAAN

بسم الله الرحمن الرحيم

Dengan nama Allah yang Maha Pemurah lagi Maha Penyayang, saya bersyukur kerana dengan limpah kurnia-Nya dapat saya menjalankan projek penyelidikan serta menyiapkan projek ini. Saya merakamkan ucapan ribuan terima kasih kepada penyelia iaitu Prof. Madya Dr. Mohd. Fadzil bin Ain. di atas segala tunjuk ajar dan juga dorongan yang telah diberikan sepanjang penyelidikan ini berjalan. Beliau telah memberikan saya pertolongan yang begitu bermakna. Dorongan dan nasihat beliau menjadi sumber motivasi kepada saya untuk menjalankan penyelidikan seperti telah dirancang.

Ucapan terima kasih ini juga ditujukan kepada juruteknik-juruteknik dan kakitangan yang bertugas di Pusat Pengajian Kejuruteraan Elektrik dan Elektronik, Universiti Sains Malaysia yang menyumbangkan pertolongan. Tanpa jasa dan pertolongan mereka sudah tentu saya tidak akan dapat menyiapkan projek penyelidikan ini dengan jayanya.

Akhir sekali saya ucapkan terima kasih kepada isteri tercinta dan anak-anak di atas dorongan semangat dan pengorbanan. Semoga apa yang diperolehi daripada projek ini dapat dimanfaatkan untuk kepentingan bersama. Kehadirat Allah saya memohon doa semoga dapat limpah rahmat untuk semua.

ISI KANDUNGAN

	Muka Surat
PENGHARGAAN	ii
ISI KANDUNGAN	iii
SENARAI LAMPIRAN	viii
SENARAI JADUAL	ix
SENARAI RAJAH	x
SENARAI PLAT	xvi
TERJEMAHAN ISTILAH	xvii
SENARAI LAMBANG	xx
SINGKATAN ISTILAH	xxv
ABSTRAK	xxvi
ABSTRACK	xxvii
 BAB 1: PENGENALAN	
1.0 Latar Belakang	1
1.1 Teknologi Penukar	3
1.2 Objektif Penyelidikan	5
1.3 Skop Projek Penyelidikan	5

1.4	Penyataan Masalah	6
1.5	Metodologi Penyelidikan	7
1.6	Tinjauan Tesis	9

BAB 2: KAJIAN ILMIAH

2.0	Pengenalan	10
2.1	Kajian - Kajian Terdahulu	10
2.2	Penyongsang Berbilang Aras	16
2.3	Topologi Penyongsang Berbilang Aras	17
2.3.1	Topologi Penyongsang Berbilang Aras Diod Apitan	18
2.3.2	Topologi Penyongsang Berbilang Aras Kapasitor Terbang	20
2.3.3	Topologi Penyongsang Berbilang Aras Sambungan Lata	22
2.4	Penyongsang Tetimbang Penuh	23
2.5	Prinsip Kendalian Penyongsang Tiga Aras	26
2.5.1	Konsep Berbilang Suis	27
2.5.2	Penyongsang Lima Aras Sambungan Lata	28
2.5.3	Teknik Pensuisan Penyongsang Lima Aras	30
2.6.	Pengubah Frekuensi Tinggi Dan Binaan	33
2.6.1	Kehilangan Lilitan Gelung	35
2.6.2	Kehilangan Kuprum	36
2.6.3	Kehilangan Kesan Kulit	37
2.6.4	Kehilangan Kesan Hampiran	37

2.6.5	Rintangan Haba	37
2.6.6	Kenaikan Suhu	38
2.7	Konsep PWM	39
2.8	Penjana Isyarat Pensuisan	42
2.8.1	Pengawal PWM SG3525A	42
2.8.2	Penyegerakan Frekuensi Berbilang Cip SG3525A	45
2.8.2.1	Flip-Flop D	45
2.8.2.2	Litar Pembahagi Frekuensi	47
2.8.2.3	Pemberbilang Getar Monostabil	47
2.9	Pemacu MOSFET	49
2.10	Peranti Pensuisan	50
2.11	Jumlah Herotan Harmonik	51
2.12	Analisa Siri Fourier	51
2.12.1	Gelombang Sukuan Simetri Ganjil	52
2.12.2	Kegunaan Siri Fourier Dalam Penyongsang Berbilang Aras	52
2.13	Pengurangan Harmonik Dalam Penyongsang Lima Aras	57

BAB 3: METODOLOGI

3.0	Pengenalan	60
3.1	Rekabentuk Penukar A.T - A.T Tetimbang Penuh	61
3.1.1	Rekabentuk Penyongsang Tetimbang Penuh	62
3.1.2	Rekabentuk Litar Pemacu MOSFET	65
3.1.3	Kadaran Peranti Suis	67
3.1.4	Rekabentuk Litar Pengawal PWM TL494	68

3.1.5	Rekabentuk Pengubah Frekuensi Tinggi	70
3.1.5.1	Pemilihan Saiz Teras	71
3.1.5.2	Bilangan Lilitan Pengalir dan Saiz Pengalir	72
3.1.6	Rekabentuk Litar Penerus	75
3.1.7	Rekabentuk Litar Penapis	75
3.1.8	Protaip Penukar A.T-A.T Tetimbang Penuh	78
3.2	Rekabentuk Penyongsang Lima Aras	79
3.2.1	Rekabentuk Litar Kawalan	80
3.2.1.1	Strategi Penjanaan Isyarat Picuan	81
3.2.1.2	Rekabentuk Litar Segerak	83
3.2.1.2	Gelombang Rujukan Segiempat	83
3.2.1.3	Pisahan Isyarat Pensuisan	83
3.2.2	Litar Kuasa Sambungan Lata	86
3.2.2.1	Litar Pemacu MOSFET	87
3.2.2.2	Pemilihan Elemen Suis	89

BAB 4: KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

4.0	Pengenalan	91
4.1	Perisian Simulasi Pspice	91
4.2	Ditentukan Keputusan Dengan Pspice	92
4.3	Simulasi dan Keputusan Ujikaji Penukar A.T – A.T Tetimbang Penuh	99
4.3.1	Keputusan Simulasi Penukar A.T – A.T Tetimbang Penuh	99
4.3.2	Keputusan Perkakasan Litar Prototaip Penukar A.T – A.T	102
4.3.2.1	Ujian Litar Pensuisan	102

4.3.2.2	Pengukuran Masa Lengah	105
4.3.3	Pengujian Penukar A.T - A.T Tetimbang Penuh	105
4.3.3.1	Frekuensi Pensuisan Melawan Kecekapan Kuasa	106
4.3.3.2	Kitar Tugas Melawan Kecekapan Kuasa	107
4.4	Keputusan Simulasi dan Ujikaji Penyongsang Lima Aras	108
4.4.1	Keputusan Ujikaji Prototaip Litar Kawalan PWM	110
4.4.2	Penyegerakan Isyarat PWM	111
4.4.3	Pisahan Isyarat	113
4.5	Analisa Simulasi dan Keputusan Ujikaji Kesan Perubahan Sudut Pensuisan Terhadap THD	115
4.6	Pembangunan Prototaip penyongsang Lima Aras	133
4.7	Pengujian Prototaip Penyongsang Lima Aras	133
4.7.1	Bentuk Gelombang Voltan dan Arus Keluaran	134
4.7.2	Jumlah Herotan Harmonik	136
4.7.3	Kecekapan Prototaip Penyongsang	136
4.8	Keputusan Ujian Penyongsang Jenama TBE	137
4.9	Kos Rekabentuk Perkakasan	141

BAB 5: KESIMPULAN DAN CADANGAN

5.0	Kesimpulan	143
5.1	Cadangan Penyelidikan Projek Susulan	145

SENARAI LAMPIRAN

	Muka Surat
Lampiran A: Litar Skematik Penukar AT-AT Tetimbang Penuh	152
Lampiran B: Litar Kawalan	153
Lampiran C: Litar Skematik Penyongsang Lima Aras Sambungan Lata	154
Lampiran D: Helaian Data TL494	155
Lampiran E: Helaian Data SG3525A	159
Lampiran F: Helaian Data IR2181	161
Lampiran G: Helaian Data IRFZ48N	164
Lampiran H: Helaian Data IRF840	166
Lampiran I: Saiz Tetingkap Teras	168
Lampiran J: Geraf Ketumpatan Fluks Melawan Frekuensi	169
Lampiran K: Jadual Saiz Pengalir	170

SENARAI JADUAL

	Muka Surat
Jadual 2.1: Jadual hubungan pensuisan topologi apitan diod	19
Jadual 2.2: Jadual hubungan pensuisan topologi kapasitor terbang	21
Jadual 2.3: Kombinasi konsep berbilang suis	27
Jadual 2.4: Kombinasi pensuisan penyongsang lima aras sambungan lata	33
Jadual 2.5: Bentuk geometri dan kegunaannya.	34
Jadual 2.6: Jadual kebenaran flip-flop D	46
Jadual 2.7: Hubungan indek pemodulatan dengan sudut pensuisan.	59
Jadual 3.1: Spesifikasi MOSFET IRFZ48N	67
Jadual 3.2: Spesifikasi MOSFET IRFP840	90
Jadual 4.1: Hubungan indek pemodulatan dengan jumlah herotan harmonik	98
Jadual 4.2: Parameter simulasi penukar a.t - a.t tetimbang penuh	100
Jadual 4.3: Parameter simulasi penyongsang lima aras	110
Jadual 4.4: Keputusan ujikaji dan simulasi jumlah herotan harmonik dengan perbezaan indek permodulatan	132
Jadual 4.5: Maklumat kos perkakasan dan komponen utama	141

SENARAI RAJAH

	Muka Surat
Rajah 1.1: Carta alir penyelidikan	8
Rajah 2.1: Gelombang berbentuk tangga	17
Rajah 2.2: Topologi lima aras diod apitan	20
Rajah 2.3: Topologi lima aras kapasitor terbang	20
Rajah 2.4: Topologi lima aras sambungan lata	22
Rajah 2.5: Topologi penyongsang tetimbang penuh	24
Rajah 2.6: Bentuk gelombang keluaran penyongsang tetimbang penuh.	25
Rajah 2.7: Masa lengah	26
Rajah 2.8: Konsep penukar berbilang suis	27
Rajah 2.9: Topologi penyongsang lima aras sambungan lata	28
Rajah 2.10: Bentuk gelombang penyongsang tiga aras sambungan lata	29
Rajah 2.11: Pengaliran arus menghasilkan voltan $+V_S$	30
Rajah 2.12: Pengaliran arus menghasilkan jumlah voltan $+2V_S$	31
Rajah 2.13: Pengaliran arus menghasilkan voltan $-V_S$	32
Rajah 2.14: Pengaliran arus menghasilkan jumlah voltan $-2V_S$	32
Rajah 2.15: Penghasilan bentuk isyarat PWM	40
Rajah 2.16: Gambarajah pemodulatan PWM	41
Rajah 2.17: Gambarajah blok pengawal PWM SG3525A	43
Rajah 2.18 : Litar kawalan PWM	44
Rajah 2.19: Litar logik flip-flop D	46
Rajah 2.20: Simbol logik flip-flop D	46

Rajah 2.21:	Gambarajah pemasaan untuk 1-bit pembahagi frekuensi	47
Rajah 2.22:	Litar pembilang-getar monostabil	48
Rajah 2.23:	Gambarajah blok pembilang-getar monostabil MC14538B	49
Rajah 2.24:	Gelombang simetri sukuan ganjil enam aras	53
Rajah 3.1:	Rajah blok penyongsang lima aras	60
Rajah 3.2:	Penukar a.t - a.t tetimbang penuh	61
Rajah 3.3:	Penyongsang tetimbang penuh	63
Rajah 3.4:	Isyarat pensuisan dilengahkan	64
Rajah 3.5:	Rajah blok pemacu MOSFET IR2110	66
Rajah 3.6:	Litar pemacu MOSFET IR2110	66
Rajah 3.7:	Litar pengawal TL494	69
Rajah 3.8:	Gambarajah blok litar cip TL494	70
Rajah 3.9:	Pengubah frekuensi tinggi merupakan sebahagian dari litar penukar a.t - a.t	71
Rajah 3.10:	Litar penerus	75
Rajah 3.11:	Litar penapis LC	76
Rajah 3.12:	Penapis laluan rendah	76
Rajah 3.13:	Konfigurasi penyongsang lima aras	79
Rajah 3.14:	Bentuk gelombang PWM dijana oleh SG3525A pada pin 11 dan pin 14	80
Rajah 3.15:	Hasil songsangan menggunakan get TAK pada pin 11	81
Rajah 3.16:	Litar segerak	83
Rajah 3.17:	Penjanaan isyarat PWM terpisah	84
Rajah 3.18:	Corak isyarat pensuisan	85

Rajah 3.19:	Gambarajah blok IR2181	87
Rajah 3.20:	Litar pemacu MOSFET	88
Rajah 3.21:	Simbol dan bentuk fizikal MOSFET IRF840	90
Rajah 4.1:	Litar simulasi penyongsang lima aras sambungan lata	92
Rajah 4.2:	Bentuk gelombang voltan keluaran pada $M_a = 0.5$	93
Rajah 4.3:	Spektrum harmonik voltan pada $M_a = 0.5$	93
Rajah 4.4:	Bentuk gelombang voltan keluaran pada $M_a = 0.6$	94
Rajah 4.5:	Spektrum harmonik voltan pada $M_a = 0.6$	94
Rajah 4.6:	Bentuk gelombang voltan keluaran pada $M_a = 0.7$	95
Rajah 4.7:	Spektrum harmonik voltan pada $M_a = 0.7$	95
Rajah 4.8:	Bentuk gelombang voltan keluaran pada $M_a = 0.8$	96
Rajah 4.9:	Spektrum harmonik voltan pada $M = 0.8$	96
Rajah 4.10:	Bentuk gelombang voltan keluaran pada $M_a = 0.9$	97
Rajah 4.11:	Spektrum harmonik voltan pada $M_a = 0.9$	97
Rajah 4.12:	Graf indek pemodulatan melawan THD	98
Rajah 4.13:	Litar simulasi penukar a.t - a.t tetimbang penuh dengan dwi keluaran	100
Rajah 4.14:	Keputusan simulasi Pspice (a) Isyarat keluaran V_1 (b) Isyarat keluaran V_2 (c) Voltan keluaran penyongsang V_3	101
Rajah 4.15:	Simulasi voltan keluaran penukar a.t - a.t pada punca V_4 dan V_5	102
Rajah 4.16:	(a) Isyarat keluaran pin 8 (b) Isyarat keluaran pin 11	103
Rajah 4.17:	Bentuk gelombang segiempat dengan frekuensi 100 kHz pada bahagian primer pengubah frekuensi tinggi	104
Rajah 4.18:	Bentuk voltan dwi keluaran penukar a.t - a.t	104

Rajah 4.19:	Pengukuran masa lengah dua isyarat PWM	105
Rajah 4.20:	Frekuensi pensuisan melawan kecekapan kuasa	106
Rajah 4.21:	Kitar tugas melawan kecekapan kuasa	108
Rajah 4.22:	Litar skematik simulasi penyongsang lima aras sambungan lata	109
Rajah 4.23:	Isyarat keluaran SG2535A (a) Isyarat keluaran pada pin 11 (b) Isyarat keluaran pada pin 14	110
Rajah 4.24 :	(a) Isyarat pada pin 14 (b) Isyarat yang disongsangkan	111
Rajah 4.25:	(a) Isyarat segerak dari pengawal PWM (b) Isyarat segerak digandakan	112
Rajah 4.26 :	Isyarat dari litar pembahagi frekuensi (a) Isyarat segerak (b)isyarat dari flip-flop D (c) isyarat segiempat berfrekuensi 50 Hz	112
Rajah 4.27:	Isyarat yang dijana oleh SG3525A kedua berfrekuensi 50 Hz	113
Rajah 4.28:	Pembandingan isyarat a dan isyarat b menghasilkan isyarat pisahan c	114
Rajah 4.29:	Isyarat pisahan yang dihasilkan oleh pembandingan isyarat a dan isyarat b	114
Rajah 4.30:	Keputusan simulasi empat isyarat pisahan	115
Rajah 4.31:	Empat isyarat pisahan yang dijana oleh CD4081	115
Rajah 4.32:	Bentuk voltan simulasi pada indeks pemodulatan 0.53	117
Rajah 4.33:	Bentuk gelombang voltan keluaran pada $M_a = 0.53$	117
Rajah 4.34:	Spektrum harmonik voltan pada $M_a = 0.53$	118
Rajah 4.35:	Keluaran file Pspice komponen fourier	118
Rajah 4.36:	Spektrum harmonik voltan	119

Rajah 4.37:	Bentuk voltan keluaran pada indeks pemodulatan 0.57	119
Rajah 4.38:	Bentuk gelombang voltan keluaran pada $M_a = 0.57$	120
Rajah 4.39:	Spektrum harmonik voltan pada $M_a = 0.57$	120
Rajah 4.40:	Spektrum harmonik voltan	121
Rajah 4.41:	Bentuk voltan keluaran pada indeks pemodulatan 0.59	121
Rajah 4.42:	Bentuk gelombang voltan keluaran pada indeks pemodulatan 0.59	122
Rajah 4.43:	Spektrum harmonik pada indeks pemodulatan 0.59	122
Rajah 4.44:	Spektrum harmonik voltan	123
Rajah 4.45:	Bentuk voltan keluaran pada indeks pemodulatan 0.62	123
Rajah 4.46:	Bentuk voltan keluaran ujikaji pada indeks pemodulatan 0.62	124
Rajah 4.47:	Spektrum harmonik voltan pada indeks pemodulatan 0.62	124
Rajah 4.48:	Spektrum harmonik voltan	125
Rajah 4.49:	Bentuk voltan keluaran pada indeks pemodulatan 0.66	125
Rajah 4.50:	Bentuk voltan keluaran ujikaji pada indeks pemodulatan 0.66	126
Rajah 4.51:	Spektrum harmonik voltan pada indeks pemodulatan 0.66	126
Rajah 4.52:	Spektrum harmonik voltan	127
Rajah 4.53:	Bentuk voltan keluaran simulasi pada indeks pemodulatan 0.69	127
Rajah 4.54:	Bentuk voltan keluaran ujikaji pada indeks pemodulatan 0.69	128
Rajah 4.55:	Spektrum harmonik voltan pada indeks pemodulatan 0.69	128
Rajah 4.56:	Spektrum harmonik voltan	129
Rajah 4.57:	Bentuk voltan keluaran simulasi pada indeks pemodulatan 0.71	129
Rajah 4.58:	Bentuk voltan keluaran ujikaji pada indeks pemodulatan 0.71	130

Rajah 4.59:	Spektrum harmonik voltan pada indeks pemodulatan 0.71	130
Rajah 4.60:	Spektrum harmonik voltan	131
Rajah 4.61:	Jumlah herotan harmonik melawan indek pemodulatan	132
Rajah 4.62:	Bentuk gelombang voltan dan arus dari simulasi	135
Rajah 4.63:	Bentuk gelombang voltan dan arus	135
Rajah 4.64:	Graf kuasa keluaran melawan THD	136
Rajah 4.65:	Bentuk gelombang keluaran penyongsang jenama TBE	138
Rajah 4.66:	Jumlah herotan harmonik penyongsang jenama TBE	139
Rajah 4.67:	Bentuk voltan keluaran prototaip penyongsang lima aras	139
Rajah 4.68:	Spektrum harmonik voltan prototaip penyongsang lima aras	140
Rajah A :	Litar pengawal PWM TL494, pemacu MOSFET IR2110 dan litar penyongsang	152
Rajah B :	Litar pengawal SG3525A, pembahagi frekuensi, segerak dan pisahan isyarat	153
Rajah C :	Litar pemacu MOSFET IR2181 dan litar kuasa lima aras	154

SENARAI PLAT

Muka Surat

Plat 3.1:	Prototaip penukar a.t-a.t tetimbang penuh dwi keluaran	77
Plat 3.2:	Papan litar kawalan	85
Plat 3.3:	Prototaip litar kawalan dan penyongsang tetimbang penuh	89
Plat 4.1:	Prototaip penyongsang lima aras sambungan lata	133
Plat 4.2:	Pengujian prestasi prototaip penyongsang lima aras	134
Plat 4.3:	Penyongsang satu fasa jenama TBE	138

TERJEMAHAN ISTILAH

<i>Bahasa Melayu</i>	<i>Bahasa Inggeris</i>
Bergelang	Toroidal
Bobin	Bobbin
Boleh picuan semula	Retriggerable
Boleh reset semula	Resetable
Diod meroda bebas	Free-wheeling diode
Ditentusahkan	Varified
Diskret	Discrete
Dwi	Dual
Ekakutub	Unipolar
Faktor penjodoh	Coupling factor
Fabrikasi	Fabrication
Fekkuensi asas	Fundamental frequency
Fotovolta	Photovoltaic
Gangguan elektromagnetik	Electromagnetic interference
Get DAN	AND Gate
Get TAK	NOT Gate
Helaian Data	Datasheet
Hibrid	Hybrid
Jeda	Interval
Kapasitor apung	Float capacitor
Kapasitor terbang	Flying capacitor

Kehilangan arus pusar	Eddy current losses
Kitar tugas	Duty cycle
Kuasi	Quasi
Labuhan	Port
Masa mati	Dead time
Menghadang voltan	blocking voltage
Mikropengawal	Microcontroller
Papan reka	Breadboard
Pembilang getar monostabil	Monostable multivibrator
Pemodulatan tangga	Staircase modulation
Pemulihan pantas	Fast recovery
Penenggelam haba	Heat sink
Pengantaramuka	Interfacing
Pengawal	Controller
Penguat	Amplifier
Penguat ralat	Error amplifier
Pelarasan tersendiri	Independently calebration
Pensampelan	Sampling
Penukar	Converter
Penyongsang	Inverter
Penyongsang berbilang aras	Multilevel inverter
Penyongsang lima aras	Five level inverter
Penyongsang segiempat terubahsuai	Modified square-wave inverter
Penyongsang berbilang aras diod apitan	Diode- clamped multilevel inverter

Penyongsang berbilang aras kapasitor	Flying- capacitor multilevel
- terbang	- inverter
Penyongsang berbilang aras sambungan	Cascaded-multilevel inverter
- lata	
Penyongsang apitan titik neutral	Neutral point Clamped
Picuan semula	Retriggerable
Positif tepi	Positive edge
Profil	Profile
Sampuk	Interrupt
Sel bahan api	Fuel cell
Simulasi	Simulation
Teras bergelang	Toroid core
Tegasan	Stress
Tenaga diperbaharui	Renewable energy
Teknik pensampelan neutral	Neutral sampling technique
Terapung	Floating
Tidak boleh picuan semula	Non-retriggerable
Topologi	Topology
Udara olakan	Convection air

SENARAI LAMBANG

		Muka Surat
$V_{a.t}$	Voltan arus terus	19
$a.t$	Arus terus	19
D_1, D_2	Diod	24
v_o	Voltan keluaran	25
t	Masa seketika	25
T	Tempoh kitar	25
$v_o(t)$	Voltan keluaran seketika	25
T_o	Tempoh keluaran a.u	25
V_s	Sumber voltan	25
ω	Frekuensi voltan keluaran dalam rad/saat	25
S_1, S_2	Suis	26
m	Jumlah aras	28
s	Jumlah sumber bekalan a.t.	28
P_{kuprem}	Kehilangan kuprem	35
I_p	Arus primer	35
I_s	Arus sekunder	35
R_p	Rintanga primer	35
R_s	Rintangan sekunder	35
R_p	Rintangan lilitan primer	36
R_s	Rintangan lilitan sekunder	36
σ	Kerintangan kuprum	36

L_{mt1}	Purata panjang jumlah lilitan primer	36
L_{mt2}	Purata panjang jumlah lilitan sekunder	36
A_{pri}	Jumlah luas keratan rentas lilitan primer	36
A_{sec}	Jumlah luas keratan rentas lilitan sekunder	36
T_1	Bilangan lilitan primer	36
T_2	Bilangan lilitan sekunder	36
R_T	Rintangan haba	37
R_E	Rintangan haba luaran	37
f_s	Frekuensi pensuisan	40
D	Kitar tugas	40
θ	Sudut pensuisan	40
t_{on}	Masa tutup	40
t_{off}	Masa buka	40
T_s	Tempoh kitar	40
V_g	Voltan gerigi	40
V_{ref}	Voltan rujukan	40
$v_o(t)$	isyarat keluaran PWM	41
$v_{ref}(t)$	Isyarat rujukan	41
f	Frekuensi	43
f_{in}	Frekuensi masukan	47
f_{out}	Frekuensi keluaran	47
V_s	Voltan sumber	50

V_B	Voltan bootstrap	50
H_O	Pemacu bahagian atas	50
L_O	Pemacu bahagian bawah	50
H_{IN}	Masukan aktif tinggi	50
L_{IN}	Masukan aktif rendah	50
θ_k	Sudut pensuisan	53
n	Harmonik ganjil	53
s	Bilangan aras	55
E	Amplitud voltan a.t	54
h_1	Amplitud komponen asas	55
S	Bilangan sumber bekalan a.t	56
E	Magnitud voltan a.t	56
Ma	Indek pemodulatan	56
a.t - a.t	Arus terus ke arus terus	60
a.u	Arus ulangalik	60
α	Masa mati	64
β	Sudut pada separuh kitar	64
$V_{a.u}$	Voltan arus ulangalik	65
$V_{o,ppgd}$	Voltan keluaran pada punca ganda kuasa dua	65
$i_{o,ppgd}$	Arus keluaran pada punca ganda kuasa dua	65
θ_n	Halaju sudut	65
η	Kecekapan	67

P_{in}	Kuasa masukan	67
t_{on}	Masa tutup	67
t_{off}	Masa buka	67
V_{DSS}	Voltan Salir Sumber	67
V_{BS}	Voltan Bootstrap Sumber	67
I_D	Arus salir	67
R_{DS}	Rintangan salir sumber	67
P_D	Kuasa lesapan	67
t_d	Masa lengah	67
t_r	Masa naik	67
t_f	Masa turun	67
f_{osc}	Frekuensi ayunan	69
α	Beza fasa	80
Q_g	Muatan get pada bahagian atas MOSFET	88
$I_{cbs(leak)}$	Arus bocor kapasitor bootstrap	88
I_{qbs}	Arus tenang pada litar pemacu bahagian atas	88
V_f	Susut voltan ke depan pada diod bootstrap	88
Q_{ls}	Aras perubahan muatan per kitar	88
f	Frekuensi operasi	88
V_{LS}	Susut voltan pada bahagian bawah MOSFET atau beban	88
V_{Min}	Voltan minimum antara V_B dan V_S	88
C_B	Kapasitor Bootstrap	88
C_{BS}	Kapasitor Bootstrap Sumber	88
I_o (ppgd)	Arus keluaran pada punca ganda kuasa dua	89

p_o	Kuasa keluaran	89
$V_{o(ppgd)}$	Voltan keluaran pada punca ganda kuasa dua	89

SINGKATAN ISTILAH

AC	Alternating Current
ADC	Analog to digital converter
CAD	Computer Aided Design
CMOS	Carbon Metel Oxide Silicon
CSI	Current Source Inverter
DC	Direct Current
DSP	Digital Signal Processing
DTC	Delay time comparator
EPROM	Electronic Programmer Read Only Memory
EMI	Electromagnetic Interference
GTO	Gate-Turn-Off Thyristor
IC	Integrated Circuit
IGBT	Isolated Get Bipolar Transistor
MOSFET	Metel Oxide Silicon Field Effect Transistor
PCB	Printed Circuit Board
PIC	Programable Integrate Circuit
SPICE	Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis
THD	Total Harmonic Distortion
PWM	Pulse Width Modulated
VSI	Voltage Source Inverter

REKABENTUK PENYONGSANG SATU FASA

LIMA ARAS 500 WATT

ABSTRAK

Penyongsang sumber voltan berbilang aras amat sesuai digunakan dalam penukaran voltan tinggi a.t ke a.u. Ia memberikan beberapa kelebihan berbanding penyongsang dua aras iaitu kehilangan pensuisan dan jumlah herotan harmonik dapat dikurangkan. Penyongsang berbilang aras sambungan lata dipilih sebagai penukar kuasa kerana susunatur litarnya yang bermodul. Kaedah kawalan pensuisan yang digunakan adalah berasaskan kepada pemodulatan tangga menggunakan litar bersepadu pengawal PWM SG3525A sebagai peranti utama digabungkan dengan komponen logik seperti flip-flop D dan pembanding untuk menghasilkan isyarat PWM kepada penyongsang lima aras sambungan lata. Telahan awal terhadap harmonik voltan keluaran menggunakan analisa siri fourier dan sudut picuan telah dilakukan dan ditentukan oleh simulasi komputer. Untuk mengesahkan kaedah rekabentuk dan ketepatan model simulasi, sebuah prototaip yang mana terdiri daripada sebuah penyongsang lima aras sambungan lata dan sistem pengawal telah dibina. Rekabentuk ini juga terdiri daripada litar kuasa yang telah dikonfigurasi daripada peranti MOSFET kuasa. Rekabentuk yang telah dibangunkan menghasilkan nilai jumlah herotan harmonik sebanyak 24.2% dan pada kecekapan penyongsang telah dicapai pada 82% pada kadaran beban 500 Watt.

DESIGN OF 500 WATT FIVE LEVEL

SINGLE PHASE INVERTER

ABSTRACT

Multilevel voltage source inverter is very applicable in high voltage dc to ac conversion. It offers several advantages compared to the conventional two-level inverter, which are reduced switching losses and have better harmonic performance. Cascade multilevel inverter has been chosen as a power converter because modularized circuit layout. The technique switching strategy for a particular multilevel topology, which utilised PWM controller SG3525A as its core component to generate PWM pulses waveform. Some logical devices such as D flip flop and comparators are also used to produce switching signal to the five level inverter. Prediction on the output voltage harmonics carried out using Fourier series analysis and switching angle is also carried out on this project. The design is verified by computer simulation to justify the merits of the proposed modulation technique. In order to verify the design methodology and validate the accuracy of the simulation model, a prototype, which comprises a cascade five level inverter and system controller, has been developed. This design including power circuit was configured from power MOSFET device, while the system controller has been implemented based on the analog controller. The design shows that the power quality for total harmonic distortion is 24.2% and its efficiency has been achieved up to 82% at rated load 500 Watt.

BAB 1

PENGENALAN

1.0 Latar Belakang

Malaysia adalah sebuah negara yang berkembang pesat dan berhasrat menjadi negara maju menjelang tahun 2020. Hasrat ini hanya akan tercapai sekiranya negara mampu membekalkan tenaga secukupnya untuk pembangunan serta dapat menjamin keseimbangan pembangunan dengan alam sekitar yang lestari. Pertumbuhan tenaga elektrik tahunan di negara ini sentiasa meningkat sejajar dengan pertumbuhan penduduk. Keadaan ini mendapat perhatian besar daripada kerajaan terhadap sumber tenaga diperbaharui (Suruhanjaya Tenaga, 2007). Keputusan kerajaan untuk menggunakan tenaga diperbaharui untuk masa akan datang sangatlah tepat mengikut penaksiran keperluan elektrik dan kapasiti terpasang untuk Semenanjung Malaysia semakin meningkat. Bagi memenuhi hasrat pembangunan ini, adalah penting kerajaan mencari satu sumber tenaga yang baru sebagai langkah alternatif dan persediaan masa depan selain daripada hanya bergantung pada bekalan kuasa elektrik konvensional yang sedia ada sekarang.

Kapasiti tenaga elektrik terpasang di Semenanjung Malaysia pada tahun 2007 berada pada paras 19,723 MW, meningkat 7.6% berbanding 18,323 MW pada tahun sebelumnya (Suruhanjaya Tenaga, 2007). Ternyata hampir 85 % penjanaan elektrik di Malaysia merupakan penjanaan yang berasal dari bahan api hidrokarbon. Penggunaan

bahan api yang tidak boleh diperbaharui seperti bahan api dari fosil mendatangkan banyak masalah sampingan. Pembakaran bahan api sebegini menghasilkan pencemaran hujan asid dan pemanasan global (Watt Commintee On Energy, 2003).

Oleh sebab itu, penyelidikan secara intensif dan pembangunan diperlukan bagi mencari teknologi baru untuk menjana tenaga diperbaharui. Pada masa ini, penggunaan sumber tenaga yang boleh diperbaharui memerlukan penilaian dari pelbagai aspek pembangunan. Dengan jangkaan kenaikan harga minyak dan kos pemeliharaan alam sekitar kesan daripada sistem sumber tenaga konvensional pada hari ini, menunjukkan sumber tenaga boleh diperbaharui akan menjadi salah satu penyumbang tenaga yang utama dalam beberapa dekad akan datang.

Tenaga diperbaharui memainkan peranan yang penting ke arah mendapatkan sumber tenaga yang lestari dan mesra alam sekitar serta memenuhi kehendak tenaga manusia sejagat. Pertukaran kepada sumber tenaga yang bersih, contohnya tenaga suria, angin dan air boleh membantu meningkatkan kualiti kehidupan diseluruh bumi ini, bukan sahaja bagi manusia, tetapi juga bagi tumbuhan dan haiwan. Oleh itu, penyelidikan dan pembangunan menyeluruh dalam bidang teknologi penggunaan tenaga diperbaharui perlu dipertingkatkan.

Penyelidikan dan pembangunan teknologi penukar merupakan salah satu bidang yang berkait dengan penyelidikan sumber tenaga diperbaharui dari aspek kecekapan sistem, kos dan kualiti kuasa. Kebanyakan sumber tenaga diperbaharui terutama tenaga solar memerlukan teknik penukaran yang canggih. Sebagai contoh keluaran dari panel photovolta adalah dalam bentuk gelombang arus terus yang perlu ditukarkan ke bentuk gelombang arus ulangalik oleh kerana kebanyakan penggunaan peralatan elektrik domestik adalah dalam bentuk gelombang arus ulangalik. Teknologi penukaran tenaga

arus terus kepada arus ulangalik ini dipanggil penyongsang. Kemajuan pesat teknologi peranti elektronik kuasa dapat meningkatkan taraf kualiti kehidupan moden dengan memperkenalkan kecekapan tenaga yang lebih canggih dan peralatan yang mudah dikawal untuk penggunaan industri dan rumah kediaman.

1.1 Teknologi Penukar

Pembangunan pelbagai peranti separuh pengalir kuasa tinggi, seperti MOSFET kuasa dan Isolated Gate Bipolar Transistors (IGBT) dapat meningkatkan kadaran kuasa, kelajuan dan kawalan yang dipermudahkan serta pengurangan kos peranti kuasa semikonduktor (Chang, 2003).

Penggunaan peranti kuasa semikonduktor dalam elektronik kuasa berupaya melakukan penukaran tenaga. Topologi penukaran kuasa boleh dibahagikan kepada empat kategori bergantung kepada bentuk masukan dan keluaran iaitu penukar a.u - a.t (penerus), penukar a.t - a.u (penyongsang), penukar a.t - a.t dan penukar a.u - a.u (*cycloconverter*) (Chang, 2004). Setiap penukar mempunyai kegunaannya yang tertentu. Penyongsang boleh dibahagikan kepada dua jenis utama iaitu penyongsang sumber voltan (VSI) dan penyongsang sumber arus (CSI). Kedua-duanya mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing (Nonaka, 1997). Namun penyongsang sumber voltan lebih popular berbanding dengan penyongsang sumber arus terutama dalam penggunaan tenaga boleh diperbaharui (Nonaka, 1994). Jika kuasa masukan menukar sumber voltan arus terus, penukar jenis ini merujuk kepada penyongsang sumber voltan. Di antara sumber bekalan arus terus adalah bateri dan panel solar photovolta (PV). Penyongsang boleh diklasifikasi kepada keluaran satu fasa dan tiga fasa.

Penyongsang boleh dibahagikan kepada empat kategori bergantung kepada bentuk gelombang keluaran iaitu gelombang segiempat, gelombang segiempat terubahsuai, gelombang sinus dan berbilang aras. Kebanyakan penyongsang kos rendah yang terdapat di dalam pasaran adalah penyongsang tiga aras jenis gelombang segiempat terubahsuai. Penyongsang jenis ini tidak dicadangkan bagi rekabentuk masakini kerana kualiti yang tidak memuaskan di mana jumlah herotan harmonik voltan melebihi 35%.

Secara prinsipnya penyongsang konvensional menggunakan teknik pensuisan PWM hanya sesuai untuk aplikasi kuasa rendah dan sederhana manakala untuk aplikasi kuasa tinggi, teknik pensuisan PWM tidak sesuai kerana mempunyai kehilangan pensuisan yang tinggi yang berkadar terus dengan kuasa keluaran (Tolbert et al., 1999). Penyongsang berbilang aras merupakan penyelesaian yang efektif dan praktikal untuk mengurangkan kehilangan pensuisan dalam aplikasi kuasa tinggi (Hinga, 1994 dan Manjrekar & Venkataramanan, 1999) dan juga di dapati amat sesuai dalam aplikasi kuasa rendah.

Pelbagai penyelidikan telah dijalankan dan para penyelidik merumuskan bahawa penyongsang berbilang aras tanpa pengubah berpotensi untuk dibangunkan dalam aplikasi tenaga boleh diperbaharui bagi mengurangkan berat, saiz dan kos (Kavidha & Rajambal, 2006). Teknologi penukaran berbilang aras diguna secara meluas pada julat voltan pertengahan dan tinggi seperti bekalan kuasa tanpa gangguan, bekalan kuasa persediaan, sistem pemacu motor, sistem pengagihan kuasa, pemanasan aruhan dan kualiti kuasa. Salah satu kelebihan utama penyongsang berbilang aras ialah ia dapat mengurangkan jumlah herotan harmonik tanpa meningkatkan frekuensi pensuisan atau mengurangkan kuasa keluaran penyongsang (Mohan et. al, 2003). Dengan mengoptimumkan sudut pensuisan, keupayaan penyongsang dapat dipertingkatkan

dengan mengurangkan harmonik gelombang keluaran. Keluaran bentuk gelombang voltan berbilang aras boleh bermula dari lima aras sehingga mencapai aras infiniti dan jumlah herotan harmonik menghampiri sifar.

1.2 Objektif Penyelidikan

Objektif utama penyelidikan ini bertujuan merekabentuk dan membangunkan sebuah prototaip penyongsang lima aras pada kadaran kuasa keluaran 500 W untuk peralatan elektrik domestik. Objektif lain penyelidikan ini adalah;

1. Merekabentuk litar penukar a.t - a.t tetimbang penuh berfrekuensi tinggi dengan dwi voltan keluaran 400 V.a.t dan 200 V.a.t yang berfungsi menyuapkan sumber voltan arus terus kepada litar kuasa sambungan lata.
2. Merekabentuk litar penyongsang lima aras konfigurasi sambungan lata satu fasa merangkumi litar kawalan penjana isyarat pensuisan, litar segerak dan litar kuasa sambungan lata.
3. Menguji parameter prototaip penyongsang seperti jumlah herotan harmonik dan kuasa keluaran.

1.3 Skop Projek Penyelidikan

Skop pelaksanaan rekabentuk projek ini ialah merekabentuk litar penyongsang lima aras sambungan lata termasuk litar penukar a.t - a.t tetimbang penuh, litar kawalan isyarat pensuisan, litar segerak, litar pemacu MOSFET berasaskan litar bersepadu IR2181 dan litar kuasa sambungan lata.

1. Laporan ini membincangkan pembangunan penyongsang lima aras dari aspek kos rendah, saiz yang optima dan kecekapan tinggi.
2. Teknik kawalan pensuisan penyongsang lima aras berasaskan kepada pemodulatan tangga.

1.4 Penyataan Masalah

Fungsi utama penyongsang ialah untuk menukar kuasa a.t kepada kuasa a.u di mana ia merupakan alat pengantaraan antara sumber tenaga diperbaharui kepada beban pengguna. Kebanyakan rekabentuk penyongsang masa kini menggunakan pengawal mikro seperti pengawal mikro PIC, MOTOROLA M68HC11E2 dan Pemprosesan isyarat digital (DSP) untuk penghasilan isyarat kawalan kepada litar penyongsang. Kos penyongsang menggunakan pengawal digital memerlukan komponen yang agak kompleks seperti pengawal mikro 8 bit, EPROM, penukar analog digital (ADC) (Steigerwald et.al, 1983). Teknik kawalan pensuisan menggunakan peranti litar bersepadu pengawal analog dapat mengurangkan kos penyongsang dan memberi manfaat kepada pengguna terutama kepada penduduk kawasan pedalaman.

Penggunaan pengubah kuasa langkah naik menyebabkan saiz keseluruhan penyongsang menjadi besar serta berat dan secara tidak langsung meningkatkan kos yang berkadar terus kepada nilai kuasa keluaran (Johanna & Myraik, 2001). Dengan menggunakan teknik pensuisan berfrekuensi tinggi pada penukar a.t - a.t, maka pengubah frekuensi tinggi dan penapis akan bertambah kecil ini menyebabkan saiz keseluruhan penyongsang menjadi semakin kecil dan ringan, secara tidak langsung kos peralatan tersebut menjadi semakin murah.

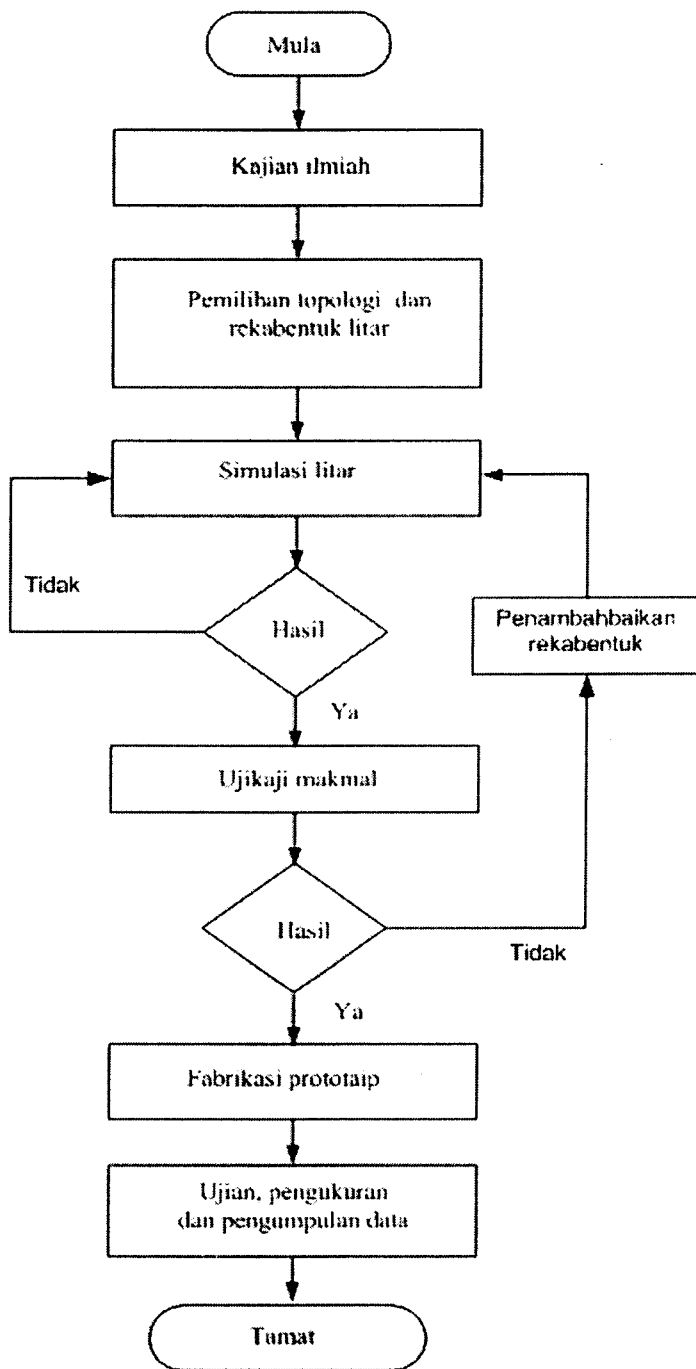
Peningkatan bilangan denyut per kitar oleh gelombang penjana denyut akan menyumbang kepada kehilangan kuasa yang tinggi pada peranti MOSFET. Oleh demikian kaedah pensuisan frekuensi asas 50 Hz digunakan untuk mengurangkan kehilangan kuasa peranti suis dan kandungan harmonik dapat dikurangkan serta kecekapan keseluruhan sistem dapat dipertingkatkan (Jahmeerbacus et. al, 2000).

1.5 Metodologi Penyelidikan

Metodologi yang digunakan dalam projek penyelidikan rekabentuk penyongsang lima aras dapat dihurai sebagai berikut;

1. Merekabentuk satu prototaip penukar a.t - a.t tetimbang penuh yang berfungsi untuk menaikkan nilai voltan 12 V a.t kepada voltan 200 V a.t dan 400 V a.t.
2. Merekabentuk prototaip penyongsang lima aras merangkumi litar kawalan isyarat pensuisan, litar segerak dan litar kuasa lima aras sambungan lata.
3. Membuat simulasi litar projek menggunakan perisian Pspice versi 9.1. Ini adalah bertujuan untuk menjangkakan keputusan yang akan diperolehi bagi setiap tahap rekabentuk litar tersebut.
4. Melakukan ujikaji di atas protoboard, bentangan papan litar bercetak dan pemasangan komponen dan pengukuran menggunakan peralatan seperti Osiloskop Lecroy dan Power Quality Fluke 34B.
5. Menganalisa data ujikaji dan membuat kesimpulan.

Carta alir projek penyelidikan rekabentuk penyongsang lima aras ditunjukkan pada Rajah 1.1.



Rajah 1.1: Carta alir penyelidikan

1.6 Tinjauan Tesis

Secara keseluruhannya, tesis ini mengandungi lima bab. Bab 1 memberi penerangan ringkas mengenai penyelidikan yang akan dilakukan. Penerangan ini merangkumi latar belakang pengenalan, objektif, pernyataan masalah, skop penyelidikan dan metodologi penyelidikan.

Bab 2 menjelaskan dengan ringkas ulasan kajian ilmiah terdahulu, tentang topologi penyongsang berbilang aras, penyongsang tetimbang penuh, penyongsang lima aras sambungan lata, pengubah frekuensi tinggi. Bab ini juga membincangkan kegunaan analisa siri fourier dalam penyongsang berbilang aras.

Bab 3 membincangkan tentang metodologi rekabentuk penukar a.t - a.t tetimbang penuh dan juga membincangkan rekabentuk penyongsang lima aras merangkumi litar kawalan pensuisan yang berasaskan pengawal analog yang meliputi pengawal PWM SG3525A, litar segerak, litar pembahagi frekuensi dan litar pisahan isyarat.

Bab 4 pula mengenai keputusan hasil simulasi dan ujikaji dan perbincangan hasil ujikaji dari penukar a.t - a.t tetimbang penuh dan litar kawalan pensuisan dan bahagian-bahagiannya.

Bab 5 tentang kesimpulan keseluruhan kajian yang telah dijalankan daripada proses rekabentuk sehingga menghasilkan prototaip. Bab ini juga menyelitkan beberapa cadangan berkaitan penyelidikan yang telah dijalankan bagi membolehkan kesinambungan penyelidikan ini dapat dilakukan.

BAB 2

KAJIAN ILMIAH

2.0 Pengenalan

Penyongsang satu fasa tetimbang separuh dan tetimbang penuh adalah dua topologi asas untuk mengawal pengaliran kuasa antara arus terus dan arus ulangalik (Amit & Raja, 2006). Penerus kawalan fasa digunakan sebagai alternatif kepada litar penyongsang. Namun begitu ia agak sukar untuk kawalan pengaliran kuasa dan secara umumnya, ia memerlukan sumber bekalan a.u yang tinggi (Ross, 1997). Penyongsang satu fasa boleh digabungkan untuk membentuk penyongsang tiga fasa ataupun penyongsang berbilang aras (Rashid, 2001). Bab ini menerangkan berkenaan konfigurasi penyongsang berbilang aras dan kendalian penyongsang lima aras sambungan lita. Seterusnya bab ini menjelaskan tentang pengubah frekuensi tinggi, penjana isyarat pensuisan dan analisa siri fourier.

2.1 Kajian - Kajian Terdahulu

Kajian dan pembangunan terhadap penyongsang berkembang pesat seiring dengan perkembangan teknologi semikonduktor. Dengan perkembangan teknologi peranti kuasa semikonduktor yang semakin kecil (Ross, 1997) maka, kecekapan dan prestasi penyongsang dapat dipertingkatkan dari masa ke semasa dari aspek teknik pensuisan, profil harmonik, kehilangan pensuisan peranti, saiz, berat dan kos

keseluruhan sistem. Terdapat juga para penyelidik yang telah menyelidik penyongsang satu fasa dan tiga fasa sebelum ini menggunakan pelbagai jenis topologi dan kaedah dalam rekabentuk litar kawalan pensuisan. Mungkin dengan kepelbagaian jenis topologi penyongsang, kajian akan dapat dijalankan dengan lebih baik.

Antaranya ialah Herrmann & Langer (1993) membangunkan teknologi penyongsang satu fasa kos rendah menggunakan cip pengawal analog PWM SG3524 untuk diaplikasikan pada rumah kediaman seperti lampu, kipas angin, TV dan komputer peribadi. Kajian membuktikan bahawa cip pengawal analog PWM adalah lebih praktikal dengan rekabentuk litar kawalan yang lebih mudah dan murah serta isyarat pensuisan yang lebih stabil berbanding dengan pengawal mikro seperti DSP yang begitu kompleks dan rumit walaupun komponen tersebut bersepadu dalam satu cip tetapi kos masih tinggi berbanding dengan cip pengawal analog PWM.

Yuvarajan & Chiou (1994) telah membangunkan penyongsang dengan teknik pensampelan natural SPWM untuk rangkaian salunan a.t berasaskan penjana gelombang ICL8038C yang menjanakan gelombang segitiga berfrekuensi tinggi dan gelombang sinus. Dua gelombang disegerakkan menggunakan litar segerak luaran. Isyarat PWM diperolehi dengan membandingkan gelombang pembawa segitiga dengan gelombang rujukan sinus. Frekuensi gelombang sinus dan segitiga boleh diubah secara serentak menggunakan isyarat kawalan tunggal. Menurut beliau, pembangunan penyongsang berasaskan penjana gelombang analog ICL8038C ini lebih mudah untuk pelarasan frekuensi serta berkos murah.

Maamoun & Ahmed (1995) telah memilih rekabentuk penyongsang menggunakan kawalan digital untuk sistem pemacu pelarasan halaju. Rekabentuk penyongsang ini menggunakan pengawal mikro 8088 untuk menjanakan isyarat PWM

bersama pot masukan/keluaran bolehaturcara (PIO), pemasa jeda bolehaturcara (PIT), pengawal sampuk bolehaturcara dan penukar analog-digital (ADC). Menurut beliau, rekabentuk penyongsang ini berkos tinggi dan begitu kompleks terutama litar kawalan digital, pengasingan isyarat dan litar perlindungan setiap peranti IGBT.

Menurut Johanna & Myraik (2001) pula menyatakan dua faktor utama peningkatan kos penyongsang iaitu berat pengubah dan kecekapan yang rendah pada penyongsang. Pengurangan kos boleh dicapai dengan mengurangkan saiz bahan magnetik dan bilangan komponen pasif. Topologi gabungan penukar buck/boost disambung secara selari dengan penyongsang diusul. Kajian dilakukan secara perbandingan dengan penyongsang yang berada di pasaran pada kadar kuasa 200 W dan 800 W dari aspek kecekapan dan isipadu komponen magnetik. Hasil kajian mendapati pengurangan isipadu komponen magnetik ialah antara 50% hingga 75% pada kadar kuasa 200 W manakala antara 20% hingga 35% pada kadar kuasa 800 W dan purata kecekapan kurang 2% berbanding penyongsang biasa.

Soib et al. (2002) telah merekabentuk penyongsang PWM satu fasa 1.5 kW untuk aplikasi sambungan grid dari bekalan terus sel photovolta. Pembangunan prototaip penyongsang ini menggunakan litar kawalan litar bersepadu digital di mana penjanaan gelombang sinus dijana oleh dua pembilang binari 4015 dikonfigurasi sebagai pembilang gelang manakala gelombang segitiga dijana oleh pembilang binari 4024 7-bit. Kedua-dua isyarat keluaran digital ditukarkan kepada isyarat analog kuasi (*quasi*) menggunakan rangkaian tangga R-2R. Menurut beliau rekabentuk litar kawalan ini lebih mudah dan penjanaan isyarat digital menawarkan kestabilan yang tinggi pada frekuensi, amplitud dan offset kosong. Hasil dari ujikaji menunjukkan bahawa bentuk gelombang keluaran adalah bebentuk sinus dan nilai THD ialah 2.7 %.

Hadzer et al. (2005) telah melakukan penambahbaikan dan pengubahsuaian rekabentuk pensuisan penyongsang satu fasa untuk aplikasi photovolta bercirikan kawalan pensuisan yang mudah. Strategi rekabentuk pensuisan berasaskan satu penjana gelombang segitiga dan dua penjana gelombang sinus dengan beza fasa 180 darjah dapat menjanakan isyarat SPWM. Gabungan isyarat frekuensi tinggi dengan isyarat frekuensi rendah 50Hz dapat memanjangkan hayat peranti suis kuasa dan kecekapan tinggi. Dari keputusan simulasi dan eksperimen menunjukkan rekabentuk pensuisan dapat meminimakan kehilangan pensuisan di samping dapat meningkatkan kecekapan sistem sehingga 90% dan jumlah herotan harmonik arus kurang dari 3% dan voltan ialah 0.9%.

Menurut Ismail et al. (2007), yang menjalankan kajian menggunakan pengawal mikro Atmel AT89C2051-24PI sebagai kawalan pensuisan penyongsang satu fasa dengan mod pemodulatan lebar denyut sinusoidal (SPWM) pada frekuensi 2 kHz dengan indeks pemodulatan pada 1.3 dan didapati nilai THD bagi voltan dan arus keluaran kurang dari 3%.

Usaha-usaha pembangunan teknologi penyongsang telah berkembang secara drastik. Hasilnya, beberapa lagi penemuan baru topologi telah berjaya dicapai dan kebanyakan para penyelidik berpendapat bahawa penyongsang tanpa pengubah (*transformerless*) mempunyai ciri-ciri yang menarik dalam pengurangan gangguan harmonik gelombang voltan serta dapat meningkatkan kecekapan sistem (Kavidha & Rajambal, 2006 dan Ayob et al, 2005).

Konsep asas berbilang aras diperkenalkan pada tahun 1975 (Babaei, 2008) dan kajian terhadap teknologi penukaran kuasa berbilang aras telah bermula pada sekitar tahun 1980an. Kajian demi kajian oleh penyelidik sebelumnya telah dimanfaatkan dan

dipelopori oleh Nabae et al (1981) yang memperkenalkan konsep asas penyongsang lima aras yang dikenali sebagai penyongsang apitan titik neutral. Prospek topologi berbilang aras mula mendapat perhatian di kalangan penyelidik dan terbukti mempunyai prestasi keseluruhan yang lebih baik berbanding penyongsang tiga aras (Babaei, 2008). Secara praktikal, penyongsang berbilang aras telah digunakan di dalam pelbagai aplikasi seperti pemacu motor kenderaan elektrik, aplikasi tarikan, antaramuka utiliti dalam penukar tenaga diperbaharui dan lain-lain (Leopoldo et al., 2008 dan Tolbert et al., 1999).

Nabae et al. (1981) telah menjalankan penyelidikan penyongsang lima aras penukar apitan diod berasaskan apitan titik neutral di mana voltan keluaran mengandungi gangguan harmonik yang kurang berbanding dengan penyongsang konvensional jenis segiempat atau segiempat terubahsuai pada frekuensi yang sama. Kajian lanjut mengenai penyongsang berbilang aras dilakukan oleh Bhagwat & Stefanovic (1983) telah membuktikan bahawa jumlah herotan harmonik dapat dikurangkan dengan peningkatan aras penyongsang.

Disebabkan oleh potensi dan keupayaan topologi berbilang aras yang ditunjukkan, terdapat usaha-usaha yang berterusan di kalangan penyelidik untuk membangunkan dan mengembangkan lagi topologi berbilang aras. Hasilnya, pelbagai topologi berbilang aras telah berjaya diperkenalkan. Menurut Marchesoni et al. (1990), beliau mengemukakan dalam sebuah makalahnya bahawa konfigurasi penyongsang berbilang aras sambungan lata merupakan alternatif dalam rekabentuk penukar berbilang aras. Topologi ini juga boleh dikembangkan untuk aplikasi dalam sistem tiga fasa. Kelebihan utama topologi ini ialah ia boleh disambung secara modul dan mudah untuk meningkat bilangan aras tanpa peringkat kuasa yang kompleks, selain itu topologi

ini juga memerlukan bilangan pensuisan utama yang sama sebagaimana topologi apitan titik neutral tetapi ia tidak memerlukan diod apitan dan topologi ini memerlukan sumber voltan yang berasingan.

Meynard & Foch (1992) telah menjalankan penyelidikan menggunakan topologi kapasitor terbang dengan pendekatan kepada kebebasan dan keseimbangan voltan kapasitor apitan tetapi kelemahan utama topologi jenis ini adalah wujud salunan parasitik di antara kapasitor penjodoh dan lebih teruk lagi bilangan kapasitor bertambah dengan peningkatan aras penyongsang manakala isu pengagihan semula voltan pada rangkaian nod menyebabkan berlakunya voltan lonjakan. Namun begitu, topologi ini dilihat mempunyai harapan untuk dikembangkan.

Penyongsang berbilang aras menjadi lebih efektif dan merupakan penyelesaian yang praktikal bagi mengurangkan kehilangan dan tegangan dinamik pensuisan di dalam aplikasi kuasa tinggi (Carrara et al., 1992 dan Shivaaleelavathi & Shivakumar, 2009). Mwinyiwiwa et al. (1997) telah membuktikan dengan jelas perkaitan kehilangan pensuisan dalam penyongsang satu fasa PWM masa kini adalah tinggi. Dengan memperkenalkan penyongsang berbilang aras disambung secara modul dengan teknik pensuisan PWM ekakutub, kehilangan pensuisan dapat dikurangkan dan dengan peningkatan bilangan aras, kandungan harmonik voltan dapat dikurangkan.

Pada umumnya pembangunan penyongsang berbilang aras mempunyai dua isu utama iaitu litar topologi dan strategi pensuisan. Menurut Agelidis et al. (1997), beliau mendakwa pemilihan sudut pensuisan adalah sangat penting untuk menjana isyarat picuan yang sesuai untuk mengoptimum pengurangan harmonik terutama topologi penyongsang berbilang aras. Jesteru itu menerbitkan persamaan serentak untuk menentukan sudut pensuisan merupakan pendekatan yang terbaik.

Kajian yang telah dilakukan oleh Shyang & Ngo (1995) mencadangkan suatu kaedah Hibrid PWM yang memerlukan hanya dua dari empat suis dalam tetimbang penuh penyongsang untuk PWM pada frekuensi tinggi. Teknik HPWM menjelaskan kefahaman tentang bentuk gelombang keluaran yang berkualiti tinggi tanpa kehilangan pensuisan. Teknik ini juga dapat mengurangkan harmonik ke 3, 5 dan 7.

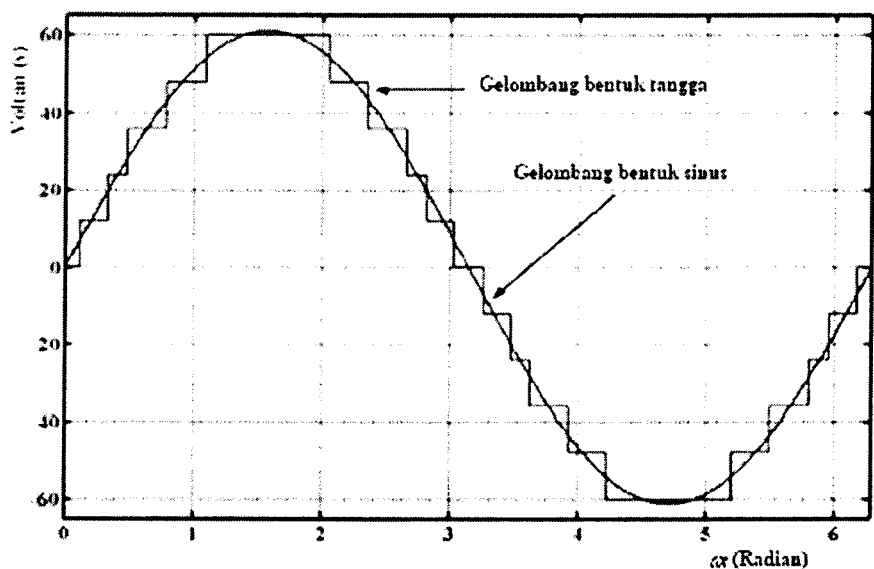
Tolbert et al. (1999) membentangkan mengenai strategi teknik pensuisan dan penekanan kepada pensuisan frekuensi asas untuk penyongsang tetimbang penuh sambungan lara. Dengan cara penyelesaian persamaan tak linear dengan kaedah Newton-Raphson, sudut pensuisan boleh ditentukan dan berupaya menghapuskan harmonik terpilih ke 5, 7, dan 11, di samping dapat menghasilkan voltan pada frekuensi asas serta secara keseluruhan jumlah herotan harmonik dapat dikurangkan.

Kajian yang telah dilakukan oleh Jahmeebacus et al. (2000) mencadangkan penambahbaikan dan pengubahsuaian topologi penukar a.t - a.u di mana pensuisan frekuensi tinggi dilakukan oleh satu peranti pada peringkat pra-penukar manakala litar tertimbang kuasa dikawal pada frekuensi rendah. Kajian ini menunjukkan pengurangan keseluruhan kehilangan kuasa pensuisan dan dapat meningkatkan kualiti gelombang voltan keluaran penyongsang PWM.

2.2 Penyongsang Berbilang Aras

Fungsi umum penyongsang berbilang aras ialah menyatukan berbilang magnitud voltan a.t kepada voltan a.u yang membentuk gelombang sinus yang dikehendaki. Kelebihan utama konfigurasi penyongsang berbilang aras adalah dapat mengurangkan harmonik tanpa meningkatkan frekuensi pensuisan atau mengurangkan kuasa keluaran (Bhagwat & Stefanovic, 1983).

Penyongsang berbilang aras mempunyai kecekapan tinggi disebabkan oleh frekuensi pensuisan yang minima, tegangan pensuisan dan gangguan elektromagnetik yang rendah. Penyongsang ini mempunyai struktur yang mudah yang disambung secara modul dan dapat meningkat aras tanpa had. Penyongsang berbilang aras adalah sesuai untuk aplikasi kuasa pertengahan dan tinggi. Sebagai contoh penyongsang berbilang aras, pertimbangkan gelombang tangga dalam Rajah 2.1. Dengan peningkatan jumlah peranti pensuisan yang menghampiri kepada infiniti maka gelombang tangga akan menghampiri bentuk gelombang sinus yang dikehendaki.



Rajah 2.1: Gelombang berbentuk tangga (Manjrekar & Venkataramanan, 1999)

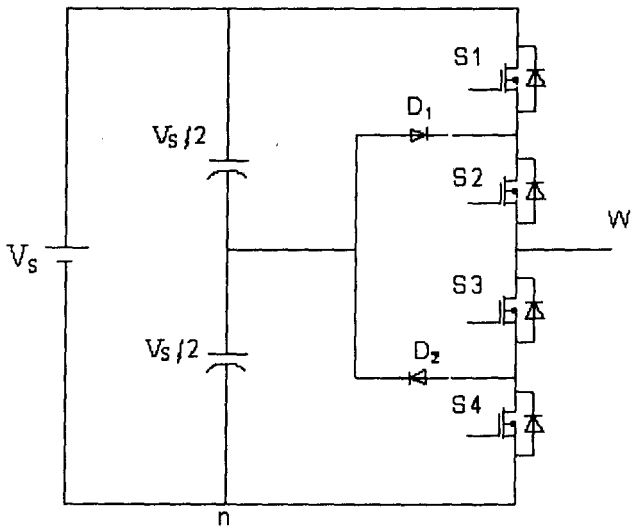
2.3 Topologi Penyongsang Berbilang Aras

Pelbagai topologi diimplementasikan dalam penyongsang berbilang aras. Pada umumnya terdapat tiga jenis topologi utama (Peng & Lai, 1996) iaitu;

1. Penyongsang berbilang aras diod apitan
2. Penyongsang berbilang aras kapasitor terbang
3. Penyongsang berbilang aras sambungan lata

2.3.1 Topologi Penyongsang Berbilang Aras Diod Apitan

Jenis topologi ini sangat popular dalam sistem penukar berbilang aras. Struktur penyongsang ini asalnya dibangunkan adalah bertujuan untuk meningkatkan kadaran kuasa penukar tanpa disambung secara selari atau siri dengan peranti separuh pengalir. Topologi ini telah diperkenalkan oleh Nabae et al. (1981). Litar topologi lima aras diod apitan adalah sepertimana ditunjukkan dalam Rajah 2.2.



Rajah 2.2: Topologi lima aras diod apitan (Rodríguez et al., 2002)

Topologi ini menggunakan kapasitor untuk menjana aras voltan pertengahan melintangi peranti suis dengan hanya menggunakan voltan masukan a.t. Topologi penyongsang ini mengandungi empat peranti suis S₁ - S₄ dan dua diod apitan D₁ dan D₂. manakala suis S₁ dan S₃ adalah sepasang suis yang saling melengkapi. Kendalian boleh dinyatakan dalam Jadual 2.1. Oleh demikian voltan keluaran dapat mencapai lima aras

iaitu; $V_s, \frac{V_s}{2}, 0, -\frac{V_s}{2}$ dan $-V_s$.

Jadual 2.1: Jadual hubungan pensuisan topologi apitan diod

Voltan keluaran V_{wn}	Suis			
	S_1	S_2	S_3	S_4
V_s	1	1	0	0
$V_s/2$	0	1	0	0
0	0	0	0	0
$-V_s/2$	0	0	1	0
$-V_s$	0	0	1	1

Topologi ini mempunyai beberapa kelebihan berbanding dengan topologi penyongsang konvensional tiga aras iaitu;

1. Voltan melintangi peranti suis adalah separuh rangkaian voltan a.t.
2. Pada prinsipnya, topologi ini diguna sebagai asas penyongsang lima aras dan boleh dikembangkan pada aras yang lebih tinggi.
3. Peratus jumlah herotan harmonik voltan dapat dikurangkan iaitu lebih kurang dua kali ganda frekuensi pensuisan.

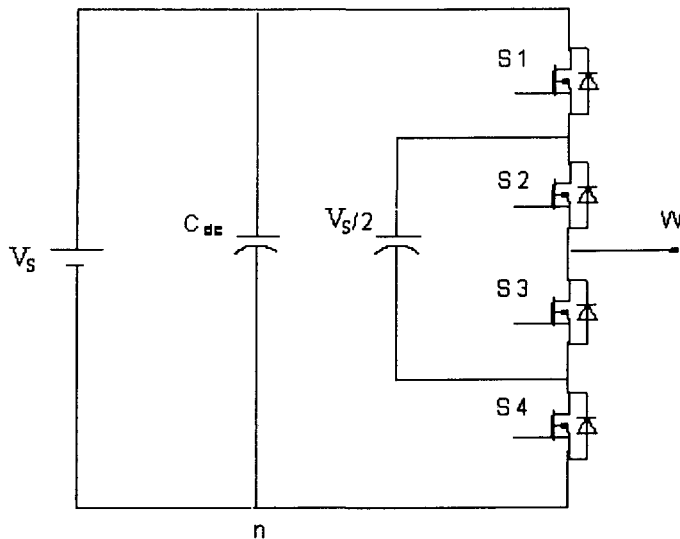
Namun demikian topologi ini juga mempunyai kelemahan berbanding dengan penyongsang tiga aras tetimbang penuh iaitu;

1. Masalah utama topologi ini ialah untuk mencapai keseimbangan bekalan voltan dengan rangkaian bas a.t. Ketidakseimbangan ini disebabkan oleh cas dan discas dalam kapasitor dan ia akan bertambah kompleks dengan peningkatan aras penyongsang.
2. Penggunaan jumlah peranti pensuisan yang banyak dan keseluruhan kos perkakasan meningkat, tidak ekonomik dan kurang praktikal.

3. Kawalan topologi diod apitan adalah lebih kompleks dan memerlukan perkakasan kawalan digital yang lebih canggih berbanding dengan topologi tiga aras.

2.3.2 Topologi Penyongsang Berbilang Aras Kapasitor Terbang

Topologi ini pertama kali diperkenalkan oleh Meynard & Foch (1992) dan merupakan satu alternatif untuk mengatasi kekurangan topologi diod apitan. Dalam topologi ini, aras tambahan dan voltan apitan dicapai oleh kapasitor apung (*float capacitor*) berbanding dengan sumber a.t. Operasi penyongsang ini boleh dijelaskan pada Rajah 2.3.



Rajah 2.3: Topologi lima aras kapasitor terbang (Meynard & Foch, 1992)

Rajah 2.3 menunjukkan topologi lima aras satu fasa. Untuk voltan mencapai aras $V_s, \frac{V_s}{2}, 0, -\frac{V_s}{2}$ dan $-V_s$. Jadual 2.2 menunjukkan hubungan pensuisan topologi lima aras kapasitor terbang.

Jadual 2.2: Jadual hubungan pensuisan topologi kapasitor terbang

Voltan keluaran V_{wn}	Suis			
	S_1	S_2	S_3	S_4
V_s	1	1	0	0
$V_s/2$	0	1	0	1
0	0	0	0	0
$-V_s/2$	1	0	1	0
$-V_s$	0	0	1	1

Topologi ini adalah untuk mengatasi masalah di dalam topologi apitan diod yang telah dijelaskan sebelum ini.

Kelebihan topologi ini adalah;

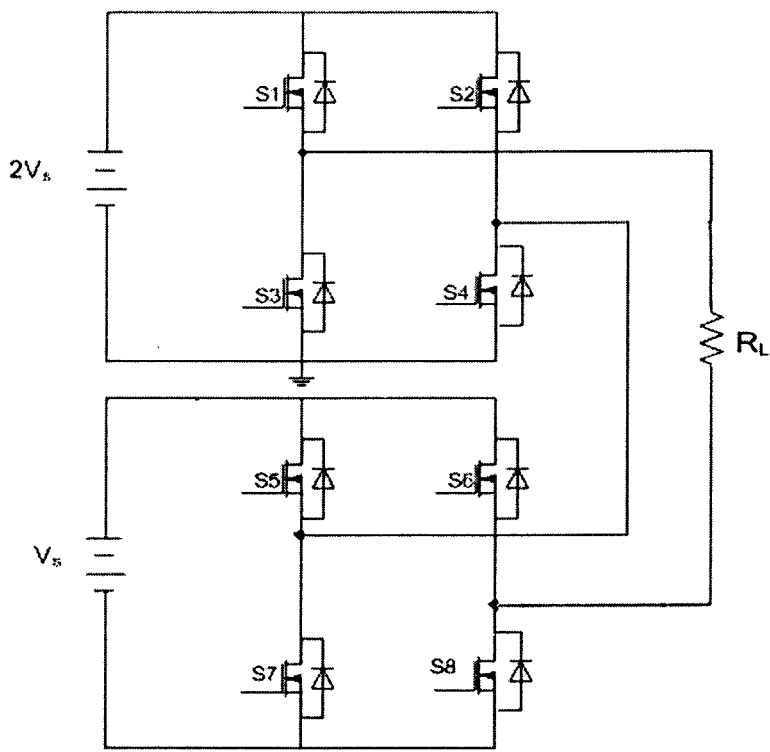
1. Tegasan peranti (dv/dt) dapat dikurangkan.
2. Keadaan suis (switch state) boleh mengekalkan keseimbangan cas dalam kapasitor.
3. Topologi ini mempunyai keadaan pensuisan yang mencukupi bagi kawalan seimbangan cas.

Topologi ini mempunyai beberapa kelemahan iaitu;

1. Kaedah kawalan cas kapasitor untuk kawalan keseluruhan litar adalah agak kompleks.
2. Topologi ini memerlukan nilai kapasitor yang besar berbanding dengan penyongsang berbilang aras apitan diod.

2.3.3 Topologi Penyongsang Berbilang Aras Sambungan Lata

Penyongsang berbilang aras sambungan lata merupakan topologi paling popular di kalangan penyelidik kerana sambungan yang mudah dan disambung secara bermodul samada dijadikan sambungan satu fasa atau tiga fasa walaupun setiap fasa dibina berasingan antara satu sama lain. Tambahan, sumber bekalan a.t boleh disambung siri untuk menghasilkan peringkat aras voltan yang lebih tinggi. Rajah 2.4 menunjukkan litar penyongsang tetimbang penuh satu fasa dengan sumber voltan a.t berasingan yang mempunyai nilai voltan berbeza. Setiap penyongsang tetimbang penuh menjana lima perbezaan aras voltan keluaran iaitu $2V_s$, V_s , 0 , $-V_s$, dan $-2V_s$.



Rajah 2.4: Topologi lima aras sambungan lata (Manjunatha & Sanuvullah, 2007)

Kelebihan dan kekurangan penyongsang berbilang aras sambungan lara adalah seperti berikut (Manjrekar et al.,1999 dan Peng & Lai, 1996 dan Bhagwat & Stefanovic, 1983). Kelebihan topologi ini adalah;

1. Jumlah aras voltan dapat dipertingkatkan tanpa memerlukan komponen tambahan hanya memerlukan punca bekalan a.t berasingan.
2. Topologi jenis ini tidak memerlukan diod apitan tambahan dan tidak berlaku masalahimbangan kapasitor.
3. Oleh kerana sambungan topologi secara modul, kos pengeluaran adalah rendah dan lebih praktikal dibanding dengan topologi yang lain.
4. Dengan menggunakan teknik pensuisan frekuensi asas, ini dapat mengurangkan kehilangan pensuisan, secara tidak langsung dapat mempertingkatkan kecekapan penyongsang.

Kelemahan;

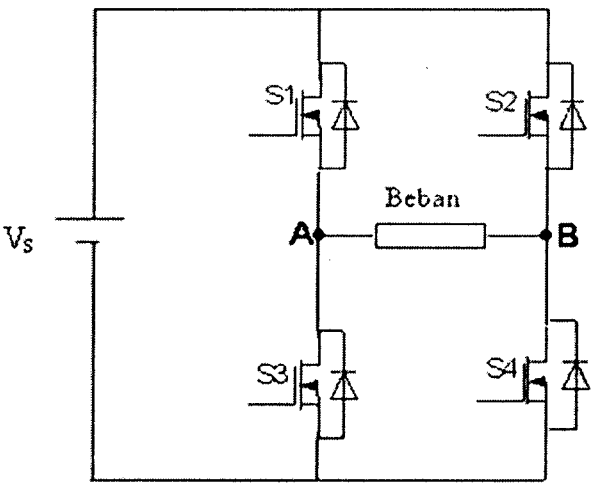
1. Memerlukan sumber voltan a.t berasingan, ini menyebabkan penggunaan yang terhad.
2. Dalam sistem tiga fasa, Penyongsang jenis ini memerlukan peranti pensuisan yang banyak berbanding dengan penyongsang tradisi.

2.4 Penyongsang Tetimbang Penuh

Untuk mencapai bentuk gelombang lima aras, konsep penyongsang sumber voltan digunakan. Dua atau lebih topologi litar penyongsang sumber voltan tetimbang penuh digunakan. Pada umumnya tetimbang penuh diguna dalam aplikasi kuasa rendah dan tinggi dan ia lebih mudah untuk pelarasan voltan keluaran dan frekuensi (Joseph,

1995). Litar penyongsang tetimbang penuh satu fasa dapat ditunjukkan seperti dalam Rajah 2.5. Litar ini menggunakan empat peranti suis MOSFET sebagai suis untuk tutup dan buka litar yang ditandakan sebagai S_1 , S_2 , S_3 dan S_4 . Litar ini juga dilengkapi dengan empat diod yang ditandakan sebagai D_1 , D_2 , D_3 dan D_4 yang disambung secara selari dengan keempat-empat peranti suis. Diod dalam litar penyongsang berperanan sebagai diod suap balik apabila beban induktif diguna sebagai beban untuk litar penyongsang (Rashid, 2004).

Pengawalan voltan dan frekuensi keluaran dalam litar penyongsang satu fasa tetimbang penuh adalah dengan kaedah mengawal buka dan tutup pasangan peranti suis S_1, S_4 dan S_2, S_3 secara bergilir. Iaitu apabila S_1, S_4 tertutup maka S_2, S_3 terbuka dan sebaliknya. Ini akan menyebabkan arah pengaliran arus pada beban akan sentiasa bertukar arah. Sekiranya keempat-empat suis ini di buka serentak, maka litar pintas akan berlaku kepada sumber voltan di dalam litar tersebut.



Rajah 2.5: Topologi penyongsang tetimbang penuh

Operasi litar ini bermula apabila peranti suis S_1, S_4 di buka serentak pada masa setengah kitar pertama $0 - T/2$, manakala peranti suis S_2, S_3 dalam keadaan tutup, pada